

트리플 데크 이론에 의한 경계층 해석(II)

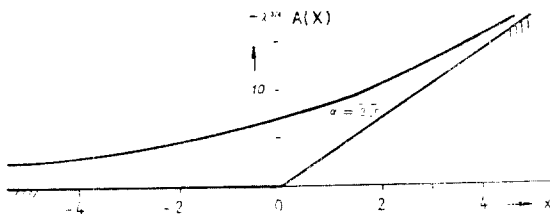
徐 龍 權

東亞大學校 機械工學科 教授

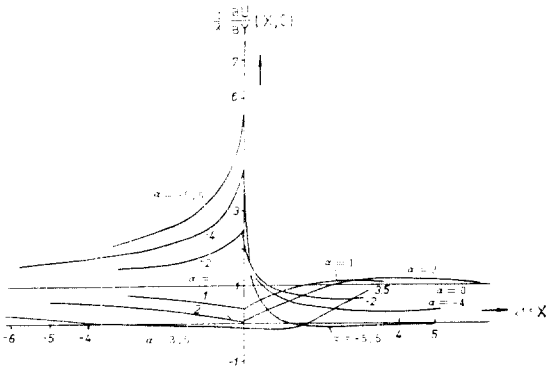
3. 트리플 데크의 적용예

3.1 좁은 박리구역을 포함하는 비압축성 유동문제

$O(1)$ 의 上下流지역에서 점근해를 가지고 $O(Re^{-3/8})$ 구역내에서 유동변화를 동반하는 유동문제는 트리플 데크(triple deck)을 적용하여 풀 수 있다. 예를 들면, 아주 완만한 모서리⁽¹⁹⁾, 작은



(a) 모서리의 기하학적 형상과 트리플 데크 이론에 의한 변위: $\alpha=3.5$ 의 경우



(b) 트리플 데크 이론에 의한 전단응력

그림 6 모서리(corner)주위의 유동문제⁽¹⁹⁾

돌출부(hump)⁽¹⁹⁾, 작은 구덩이(trough)⁽¹⁸⁾, 높이가 낮은 계단(step)⁽¹⁹⁾, 디퓨저(diffuser)⁽¹⁸⁾ 등과 같이 局部的으로 $O(Re^{-5/8})$ 규모의 기하학적 변화를 가지는 평판 위의 유동문제등이다. 이하, 수치계산 결과를 바탕으로 각종 유동문제에 대한 적용예를 살펴 보기로 한다.

그림 6(a)는 모서리 흐름(corner flow)문제의 실제 모서리角 $\alpha^* = Re^{-1/4} \lambda^{1/2} \alpha$ 에 있어서 $\alpha=3.5$ 경우의 변위(displacement)

$$\bar{A} = \lambda^{3/4} A \quad (46)$$

를 나타내고 있으며, 그림 6(b)는 표면마찰

$$C_f = \lambda^{-1} \frac{\partial U}{\partial Y}(X, 0) \quad (47)$$

를 보여 주고 있다. 수치계산 결과에 의하면 오목모서리(concave corner)의 경우 $\alpha=2.51$ 에서, 볼록모서리(convex corner)의 경우 $\alpha=-5.21$ 에서 박리가 시작 된다는 것이다⁽¹⁹⁾.

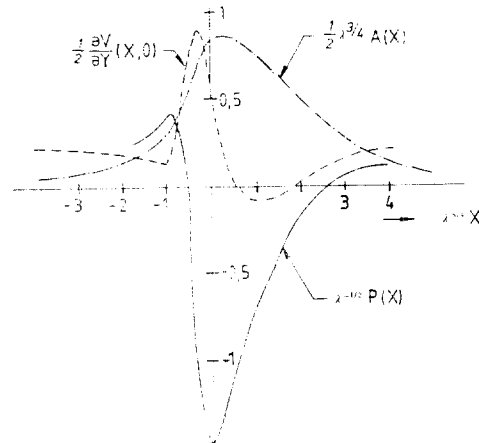


그림 7 돌출부($Y=H(1-X^2)^2$ for $|X| \leq 1$, $Y=0$ for $|X| > 1$)주위의 유동문제에 대한 트리플 데크의 적용결과: $H=3$ ⁽¹⁹⁾

그림 7은 4차 다항식 형태의 돌출부(hump)를 가진 평판위의 유동문제에 대한 트리플 벡의 수치해석 결과이다⁽¹⁹⁾.

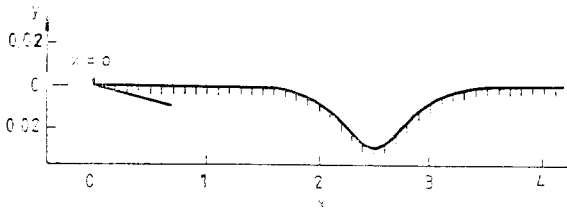
그림 8(a)는

$$y = -t_0 \operatorname{sech}(4x - 10); 0 < x < 7.5$$

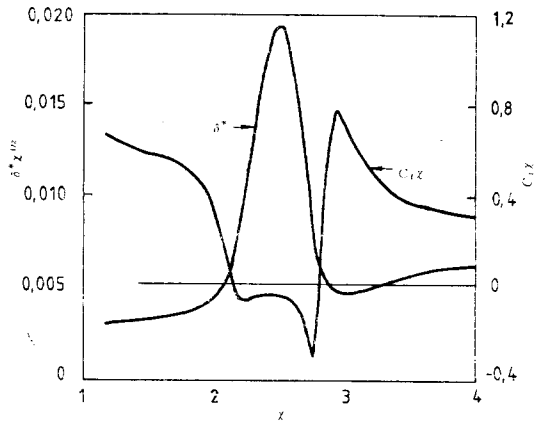
로 정의된 구덩이(trough)를 $t_0 = 0.03$ 인 경우에 대하여 보인 것이며, 그림 8(b)는 이에 대한 IBLT의 적용결과이다. 여기서 δ^* 는

$$\delta^* = \int_0^{\infty} (1-u) dy$$

로 정의된 실제의 변위이다⁽¹⁸⁾.



(a) 구덩이의 형상: $y = -t_0 \operatorname{sech}(4X - 10)$, $t_0 = 0.03$



(b) IBLT의 적용결과: $Re = 36 \times 10^5$

그림 8 구덩이(trough) 주위의 유동문제⁽¹⁸⁾

그림 9는 디퓨저(diffuser)⁽¹³⁾, 그림 10은 계단⁽¹⁹⁾의 유동문제에 대한 수치해석 결과들이다.

한편, 비행날개의 仰角의 변화에 의해 발생하는 전연(leading edge)부근의 박리기포(separation bubble)에 대해서도 많은 IBLT 관계 연구가 진행되어 왔다^(20-24, 15). 이러한 기포의 발생

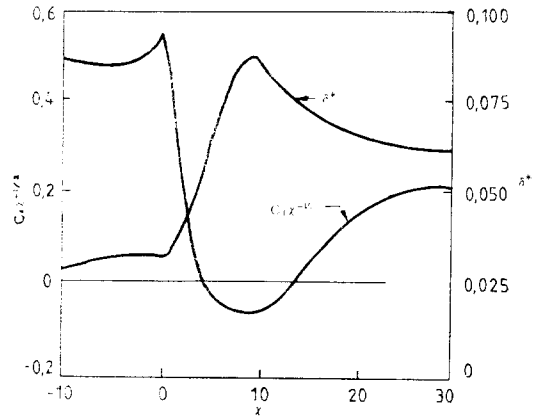


그림 9 그림 5의 디퓨저 유동문제에 대한 IBLT 적용결과: $A_0 = -0.08$, $Re_H = 6250$ ⁽¹⁸⁾

은 오래 前 Tani⁽²⁵⁾의 실험 결과로 처음 밝혀진 것이며, 적절한 천이(transition) 모델과 난류모델의 설정으로 그 유동에측이 가능하다. 그중 그림 11은 Vatsa와 Carter⁽¹⁶⁾가 발표한 것으로서, 대표적인 연구결과이다. 그림에서 보듯이 박리영역을 포함한 모든 영역에서, 실험치와 IBLT에 의한 수치결과는 잘 맞고 있다.

한편 Cebeci 등⁽²¹⁾은 비행날개를 타원형으로 모델화 시켜, α^* (仰角)과 t (aspect ratio)에 따른 전연 근처의 유동문제를 IBLT로 다루었다. 그들의 수치해석 결과에 따르면 $\xi_0 = \alpha^*/t$ 의 값이

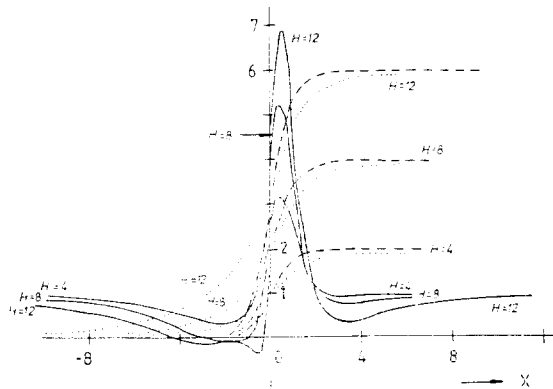


그림 10 계단 $[Y = H(2 - \operatorname{erfc}(X))]$ 주위의 유동문제에 대한 트리플 벡의 적용결과: $H = 4, 8, 12$ ⁽¹⁹⁾: $\dots, C_f; \dots, -\frac{1}{4} A^*; \dots Y$ (계단형상)

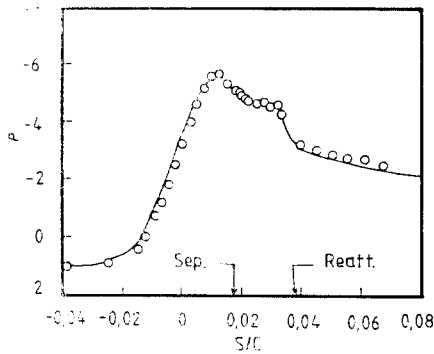


그림 11 NACA66-018 airfoil 주위의 전연 박리 문제에 대한 IBLT의 적용결과⁽¹⁶⁾: —, IBLT 결과; ○, 실험결과; s/c, chord length c에 대한主流方向의 좌표

1.218 이하일 때는 계산과정이 수렴되고 地峽의 인 기포의 발생을 볼 수 있으나, 그것이 1.220 이상이 되면 발산한다. 이러한 발산현상은 IBLT에 따른 解가 存在하지 않음을 의미하며, 나아가서 이러한 조건에서의 유동은 후연(trailing edge)을 포함한 스케일(scale)이 훨씬 더 큰 박리영역을 형성시킬 것이라는 예측을 할 수 있다. 즉 ξ_0 의 값이 증가하면서 변할 때, 1.219 근처에서 좁은 박리로부터 큰 박리로 바뀌며 박리점의 위치를 비롯한 유동전체가 大變動(catastrophe)을 일으킬 것이라는 예측이다. ξ_0 의 값이 1.219 보다 큰 경우와 같은 박리현상을 결별박리(breakaway separation)라 하고 있다⁽⁶⁾.

3.2 결별박리

결별박리란 앞에서 설명되었듯이, 박리영역이 너무 커서, 트리플 데크의 스케일로써는 박리점의 상류 및 재부착점의 하류에 각각 점근해를 갖고 있더라도 이 두점을 포함한 넓은 박리영역을 포용하여 처리함이 불가능한 경우가 되겠다. 즉 3.1의 예에서 모서리유동의 경우 α^* 가 $O(Re^{-1/4})$ 보다 큰 차수를 가지며 증가할 경우에는, 박리점의 위치는 모서리점에서부터 계속 상류로 이동할 것이며, 궁극적으로 전연에까지 갈 것으로 예측된다. 한편 재부착점의 위치 또한, 박리점의 위치 및 모서리下流의 조건에

따른 제약을 받으면서, 하류로 계속 이동할 것이다. 그리고 원통주위의 균일유동(uniform flow)의 경우에서도, 원통의 하류에 존재하는 소용돌이의 크기가 $O(Re)$ 이므로, 결별박리이다.

결별박리 문제에 트리플 데크를 적용하기 위한 시도는, 따라서, 박리점을 포함하는 $O(Re^{-3/8})$ 지역에 국한될 것이다. 이 경우, 2.2의 기본이론이 그대로 적용되며 다만 경계조건만이 다를 뿐이다. 그러나 주어진 경계조건만으로는, 상류의 유동상태가 전혀 교란(disturbance)됨이 없이 그대로 하류로 전달되며, 따라서 박리를 일으킬 수 없다. 下流의 어떤 조건만이 有한 교란수단이 될 것이라는 것은 직관적으로 쉽게 알 수 있다.

여기서, Kirchhoff⁽²⁷⁾를 비롯한 많은 19세기 이론유체역학의 大家들의 위대한 예측이 1세기 만에 빛을 보는 계기가 Sychev⁽²⁸⁾에 의해 만들어 졌다. 그것은 비점성 모델인 자유유선(free streamline)이론과 경계층이론의 멋진 조화(reconcillation)이다. 즉 Sychev는 박리점 하류에서의 壓力 $P(X)$ 또는 면위 $A(X)$ 는 Kirchhoff의 자유유선이론으로 부터 도입 되어야 할 것임을 제안한 것이다. Smith⁽²⁹⁾는 Sychev의 제안에 따라 수치계산을 수행한 결과, 解가 有하게 存在한다는 것을 수치해석적인 경향으로 보여 주었으며, 이를 위한 자유유선의 형상은

$$y = \frac{2}{3} Re^{-1/16} \lambda_0^{9/8} b (x - x_s)^{3/2} \text{ as } x \rightarrow x_s^+ \quad (48)$$

이 되어야 함을 밝혔다. 여기서 b 는 0.44이며 (Korolev⁽³⁰⁾의 계산결과는 0.42) λ_0 는 박리점 상류의 점근해의 표면마찰에 관계되는 상수이다.

Smith의 계산결과는 원통주위의 유동에 대한 既存의 Navier-Stokes 수치계산결과와 비교되었으나 만족할 만큼 근접하지 못한 것은, Navier-Stokes 계산시의 Re 數가 충분히 크지 못하여 $O(Re^{-1/16})$ 만큼 낮은 차수의 항이 여전히 큰 몫을 하게 되기 때문이다. 現存하는 2차원 원통주위의 층류 정상유동에 관한 Navier-Stokes의 수치

해석 보고에 있어서 가장 큰 Re 수는 Fornberg⁽³¹⁾의 600(직경기준)이다.

3.3 압축성유동, 열유동 문제등에의 응용

압축성유동 중에서 아음속유동문제는 적절한 변수변환을 해 주면 비압축성 유동문제와 똑 같아진다. 그리고 초음속 유동문제에서는 트리플덱의 기본구조는 거의 변함없이 적용될 수 있으나 다만 交互法則의 형태가 다를 뿐이다. Ackeret의 法則에 의하면, 초음속 유동문제에서 P 와 A 의 관계는

$$P(X) = -A'(X) \quad (49)$$

가 된다.

열유동 문제는 특히 자연대류 분야에서 적용되기 시작하는 단계인 것 같다. Merkin과 Smith⁽³²⁾는 작은 角의 모서리를 가지는 수직평판에 대하여 모서리주위에 더블덱(double deck)을 형성하고 모서리 근방의 地峽인 열유동 문제를 취급하였다. 이 경우 벽면과 주위 氣流의 온도차에 따른 부력효과는 2층 덱의 유동에 1차적으로는 영향을 미치지 못한다. 로우어 덱(lower deck)의 지배식은 앞의 트리플덱의 그것과 동일하고, 다만 P 와 A 의 관계식이

$$P(X) = -A''(X) \quad (50)$$

인 것이 다를 뿐이다. 여기서, 초음속 유동문제나 자연대류 문제에서는 어떻게 하여 (49) 및 (50)을 통하여 하류의 조건이 상류로 전달될 수 있겠느냐 하는 문제가 제기 될 것이다. 그것은, 상류의 점근해를 적용할 때 未知의 어떤 常數가 대두되는데, 그 값이 하류의 점근해를 만족할 수 있을 때까지 반복적으로 가정함에 의하여 달성 되는 것이다. 결과에 의하면 경계층 박리는

$$\alpha^* = \alpha_s a_0^{1/7} b_0^{-2/7} Gr^{-3/28}$$

(오목의 경우 $\alpha_s = 3.5$, 볼록의 경우 $\alpha_s = -5.0$) 일 때 發生하기 시작한다. 여기서 a_0 와 b_0 는 상류의 속도분포에 의해 결정되는 상수이며 Gr 은 Grashof 數이다.

Smith와 Duck⁽³³⁾은 자연대류 상태下的 원통의 上面의 정체점 부근에 나타나는 것과 같은 제트 유동의 층돌문제를 다루고, 박리영역은 Re

의 증가에 따라 $O(Re^{-3/14})$ 의 크기를 가지며 줄어들 것이라는 주장을 하였다.

4. 문제점 및 전망

트리플 덱 이론의 응용, 발전과정에서 가장 큰 문제점은 실험과 수치해석에서 찾아 볼 수 있다. 측정상의 정밀도문제, 통제할 수 없는 난류문제 등 유체실험에 있어서의 제반 문제점은 트리플덱의 해석결과를 확인하는데 큰 장애물이 되고 있다. 그리고 수치해석에 의한 檢證에도 문제가 있다. 보통 Navier-Stokes 방정식의 差分式에는 Re 數의 단위가 100을 넘어서면, 더욱 얇아진 전단층(shear layer), 더욱 커진 박리구역등으로 因하여, 안정성, 수렴성, 정밀성 등의 관점에서 문제발생의 소지가 많아지게 마련이다.

트리플 덱의 出現 이후 지금까지 많은 분야에 걸쳐 그것이 응용되어 왔다. 그중 가장 중대한 의미를 품고 있는 것은 3.2에서 소개된 결별박리 주위의 유동구조(flow structure)이다. 트리플 덱은 박리점 근방의 $O(Re^{-3/8})$ 지역에 일관된(self-consistent)유동구조를 구성함으로써, 이점에 있어서의 종래의 Goldstein 형의 特異性을 해소시켰다. 그러나 아직도 박리점의 위치 등 未知의 변수가 남아 있다. 이것은 박리점 下流의 재순환 영역에 대한 적절한 모델작업, 재부착점 주위의 局所的 유동해석, 및 박리점—도넛—재부착점의 연결작업이 完成될 때 自動적으로 결정될 것이다. 그 첫 시도는 Fornberg⁽³¹⁾의 원통 주위의 수치해석 보고에 근거를 둔 Smith⁽³⁴⁾의 제안이다. 그러나 다소 복잡한 이 모델의 정당성을 위한 실험적 수치적 확인작업은 아직 이루어지지 않았다.

다음, 천이 및 난류문제에 대한 응용은 아직 初期단계이다. 특히 천이문제에 있어서는, 표면의 거칠기가 큰 몫을 하므로 트리플덱은 큰 의미를 갖는 것 같다. Goldstein⁽³⁵⁾은 이러한 觀點에서 평행류에 놓인 평판이 微少한 기하학적 변화(평판의 어느 지점에서 微少한 각도의 볼록한 모서리를 가진다든지, 어느 지점에서 微少한 들

출부를 갖는 등)를 가지는 경우에 대하여, 外部에서 가하는 음波와 경계층 내의 Tollmien-Schlichting wave의 상호작용을 연구하고, 종래의 실험결과⁽³⁶⁾와 잘 맞는다는 것을 보여 주었다. 그러나 이 분야에서 특히 더 깊은 연구와 수치 및 실험에 의한 確認이 필요하다.

다음으로 3次元문제로의 確大이다. 이것은 근본적으로, 제한된 계산기의 용량 및 작업속도에 관계되는 문제이나, 임의의 3次元 성질을 강하게 지닌 어떤 局所的으로 不均一한 表面위의 유동문제를 트리플 덱으로 다룬 예는 아직 없다. 근래 Sykes⁽³⁷⁾는 표면의 요철이

$$z = y_0 \cos^2 \pi x \cdot \cos \frac{\pi y}{\delta_0} \quad (y_0, \delta_0 \text{는 상수})$$

와 같이 변하는 경우에 대하여, z 方向으로 Fourier 變換한 뒤, 몇가지 모우드에 관한 2次元의 수치해석을 하였다. 그러나 요철이 심하여 박리현상이 커지면 Fourier 變換에 의한 方法에 문제가 생기고, 더구나 표면의 요철이 임의의 형상일 때에는 처음부터 그 방법을 쓸 수 없다.

그의 비정상문제에의 적용에서도 전혀 그 예를 찾아 볼 수 없는 상태이며, 이 분야의 활발한 연구활동이 예상된다.

5. 맺음말

19세기의 비점성이론과 20세기초 Prandtl의 경계층이론의 調和는 마침내 트리플 덱 이론에 의해 이루어 졌다. 트리플 덱 이론은 1960年代末~1970年代初 사이에 평판의 후연 부근의 유동문제의 연구결과 發見된 수학적 근거를 갖고 있는 점근적이론(asymptotic theory)이다. 그것은 로우어(lower), 메인(main), 어퍼(upper)의 세가지 덱으로 이루어 지면서, 어퍼와 로우어 덱의 交互作用에 의해 下流의 조건이 上流로 전달되는 法則이다.

이 이론은 그 出現과 동시에 많은 유동분야에 적용되었으며 수많은 연구결과가 쏟아져 나오는 계기가 되었다.

그러나 재순환 영역의 모델문제, 안정성 및 난

류문제, 3次元으로의 확대문제, 비정상문제 등은 向後의 과제로 남아 있고, 앞으로 이 方面의 활발한 연구활동이 기대된다.

참고 문헌

- (1) Prandtl, L., 1904, "Über Flüssigkeitsbewegung bei Sehr Kleiner Reibung". Vehr. III, Int. Math. Kongr., Heidelberg, pp.484~491.
- (2) Stewartson, K., Williams, P.G., 1969, "Self-Induced Separation", Proc. R. Soc., A 312, pp.181~206.
- (3) Messiter, A.F., 1970, "Boundary Layer Flow Near the Trailing Edge of a Flat Plate", SIAM J. Appl. Math., Vol. 18, pp. 241~257.
- (4) Neiland, V.Ya., 1969, "Towards a Theory of Separation of the Laminar Boundary Layer in a Supersonic Stream", Izv. Akad. Nauk. SSSR, Mekh. Zhid. Gaza, No. 4.
- (5) Goldstein, S., 1948, "On Laminar Boundary Layer Flow Near a Point of Separation", Q.J. Mech. Appl. Math., Vol. 1, pp.43~69.
- (6) Smith, F.T., 1982, "On the High Reynolds Number Theory of Laminar Flows", I.M.A. J. Appl. Math., Vol. 28, pp.207~281.
- (7) Stewartson, K., 1974, "Multistructural Boundary Layers on Flat Plates and Related Bodies", Adv. Appl. Mech., Vol. 14, pp.14 5~239.
- (8) Meyer, R.E., 1983, "A View of the Triple Deck", SIAM J. Appl. Math., Vol. 43, pp. 639~665.
- (9) Goldstein, S., 1930, "Concerning Some Solutions of the Boundary-Layer Equations in Hydrodynamics", Proc. Camb. Phil. Soc., Vol. 26, pp.1~30.
- (10) Stewartson, K., 1969, "On the Flow Near the Trailing Edge of a Flat Plate II", Mathematika, Vol. 16, pp.106~121.

- (11) Karamcheti, K., 1966, "Principles of Ideal-Fluid Aerodynamics", John Wiley & Sons, Inc., pp. 492~516.
- (12) Jobe, C.E., Burggraf, O.R., 1974, "The Numerical Solution of the Asymptotic Equations of Trailing Edge Flow", Proc., R. Soc., A340, pp. 91~111.
- (13) Chow, R., Melnik, R.E., 1976, "Numerical Solutions of the Triple-Deck Equations for Laminar Trailing-Edge Stall", Grumman Research Dept. Rep. RE-526J.
- (14) Veldman, A.E.P., van de Vooren, A.I., 1976, "Drag of a Finite Flat Plate", Proc. 4th Int. Conf. Num. Meth. in Fluid Dyn., Lecture Notes in Physics, Vol. 35, Berlin, Springer-Verlag, p. 422.
- (15) Catherall, D., Mangler, K.W., 1966, "The Integration of the Two-Dimensional Laminar Boundary Layer Equations Past the Point of Vanishing Skin Friction", J. Fluid Mech., Vol. 26, pp. 163~182.
- (16) Vatsa, V.N., Carter, J.E., 1984, "Analysis of Airfoil Leading-Edge Separation Bubbles", AIAA J., Vol. 22, No. 12, pp. 1697~1704.
- (17) Veldman, A.E.P., 1980, "The Calculation of Incompressible Boundary Layers with Strong Viscous-Inviscid Interaction", 1980, AGARD, CP-291, pp. 12.1~12.12.
- (18) Edwards, D.E., Carter, J.E., 1985, "A Quasi-Simultaneous Finite Difference Approach for Strongly Interacting Flow", The 3rd Symp. on Num. and Phys. Aspects of Aerodyn. Flows, pp. 1.63~1.73.
- (19) Smith, F.T., Merkin, J.H., 1982, "Triple-Deck Solutions for Subsonic Flow Past Humps, Steps, Concave or Convex Corners and Wedged Trailing Edges", Computers and Fluids, Vol. 10, No. 1, pp. 7~25.
- (20) Briley, W.R., McDonald, H., 1975, "Numerical Prediction of Incompressible Separation Bubbles", J. Fluid Mech., Vol. 69, pp. 631~656.
- (21) Crimi, P., Reeves, B., 1976, "Analysis of Leading-Edge Separation Bubbles on Airfoils", AIAA J., Vol. 14, No. 11, pp. 1548~1555.
- (22) Kwon, O.K., Pletcher, R.H., 1979, "Prediction of Incompressible Separated Boundary Layers Including Viscous-Inviscid Interaction", Trans. ASME, Vol. 101, pp. 466~472.
- (23) Gleyzes, C., Cousteix, J., Bonnet, J.L., 1984, "A Calculation Method of Leading-Edge Separation Bubbles", Numerical and Physical Aspects of Aerodynamic Flows II, Ed. by T. Cebeci, Springer-Verlag New York Inc., pp. 173~192.
- (24) Cheng, H.K., Lee, C.J., 1985, "Laminar Separation Studied as an Airfoil Problem", The 3rd Symp. on Num. and Phys. Aspects of Aerodyn. Flows, pp. 1.39~1.61.
- (25) Tani, I., 1964, "Low Speed Flows Involving Bubble Separations", Prog. Aeronau. Sci., Vol. 5, pp. 70~103.
- (26) Cebeci, T., Stewartson, K., Williams, P.G., 1980, "Separation and Reattachment Near the Leading Edge of a Thin Airfoil at Incidence", AGARD, CP-291, pp. 20.1~20.13.
- (27) Kirchhoff, G., 1869, "Zur Theorie freier Flüssigkeitsstrahlen", J. reine Angew. Math., Vol. 70, pp. 289~298.
- (28) Sychev, V.V., 1972, "Laminar Separation", Fluid Dyn., Vol. 7, pp. 407~417.
- (29) Smith, F.T., 1977, "The Laminar Separation of an Incompressible Fluid Streaming Past a Smooth Surface", Proc. R. Soc. A 356, pp. 433~463.
- (30) Korolev, G.L., 1980, "Numerical Solution

- of Asymptotic Problem on Separating Laminar Boundary Layer at a Smooth Surface”, Sci. J. TSAGI XI, No. 2, pp.27~36.
- (31) Fornberg, B., 1986, “Steady Viscous Flow Past a Circular Cylinder up to a Reynolds Number 600”, J. Comp. Phys., Vol. 61, pp. 297~320.
- (32) Merkin, J.H., Smith, F.T., 1982, “Free Convection Boundary Layers Near Corners and Sharp Trailing Edges”, Z. angew. Math. Phys., Vol. 33, pp.36~52.
- (33) Smith, F.T., Duck, P.W., 1977, “Separation of Jets or Thermal Boundary Layers from a Wall”, Q. J. Mech. Appl. Math., Vol. 30, pp.143~156.
- (34) Smith, F.T., 1985, “A Structure for Laminar Flow Past a Bluff Body at High Reynolds Number”, J. Fluid Mech., Vol. 15 5, pp.175~192.
- (35) Goldstein, M.E., 1985, “Scattering of Acoustic Waves into Tollmien-Schlichting Waves by Small Streamwise Variations in Surface Geometry”, J. Fluid Mech., Vol. 15 4, pp.509~529.
- (36) Shapiro, P.J., 1977, “The Influence of Sound upon Laminar Boundary Layer Instability”, MIT Acoustics and Vibration Lab. Rep., 83458-83560-1.
- (37) Sykes, R.I., 1980, “On Three-Dimensional Boundary Layer Flow over Surface Irregularities”, Proc. R. Soc. A373, pp.311~329.



국제 학술대회 개최 안내

제 1 차 한·일 열유체 공학 학술대회

주 관 : 대한기계학회, 일본기계학회 공동주최
 분 야 : 열 유체공학 전반
 일 시 : 1988 년 11 월 1~3 일
 장 소 : 서 울
 일 정 : 1988 년 4 월 말 : 영문 200 단어의 논문초록 제출 마감
 1988 년 5 월 말 : 논문채택여부 통보 및 카메라 촬영용 매트 송부
 1988 년 8 월 말 : 완성된 논문제출 마감

∴ 기타 자세한 내용은 한국과학기술원 기계공학과 현재민 교수에게 문의 바람.
 전화번호 : (02) 967-0121 (交) 3625